



Anejo nº 2

## **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO**

AMPLIACIÓN SUR DEL PUERTO DEPORTIVO Y PESQUERO DE LAS CASAS DE  
ALCANAR

Autor: Guillermo Fernández Darder

## Índice

1. Introducción	4
2. Trabajos realizados	5
2.1. Trabajos de campo	5
2.2. Trabajos de laboratorio	7
3. Geología	12
3.1. Geología regional	12
3.2. Descripción de materiales	12
3.2.1. Sondeo 1	12
3.2.2. Sondeo 2	13
3.2.3. Sondeo 3	15
3.2.4. Sondeo 4	16
3.2.5. Sondeo 5	17
3.3. Mapa geológico	18
4. Hidrogeología	19
5. Excavabilidad	20
6. Capacidad portante y asentos	21
6.1. Consideraciones previas	21
6.2. Tensión admisible en las gravas	22
6.3. Tensión admisible en las arcillas	22
7. Problemas especiales: licuefacción de suelos	24
8. Interpretaciones y recomendaciones	25
9. Mapa de disposición de los sondeos en el puerto de Vinaroz	26

## Índice de imágenes

1. Imagen 1: Ubicación del sondeo y columna litológica registrada en el sondeo 1 hasta los 20 metros de profundidad.	13
2. Imagen 2: Columna litológica registrada en el sondeo 2 hasta los 12,50 metros de profundidad	14
3. Imagen 3: Detalle de la escollera perforada y la maquinaria empleada en la perforación	15
4. Imagen 4: Columna litológica registrada en el sondeo 3 hasta los 19,50 metros de profundidad	16
5. Imagen 5: Columna litológica registrada en el sondeo 4 desde los 8 metros hasta los 20 metros	17
6. Imagen 6: Mapa geológico de la zona	18
7. Imagen 7: Detalle de tensión admisible de las gravas	23



## Índice de tablas

1. Tabla 1: Profundidades alcanzadas en los sondeos	5
2. Tabla 2: Sondeo SM-1	6
3. Tabla 3: Sondeo SM-2	6
4. Tabla 4: Sondeo SM-3	7
5. Tabla 5: Sondeo SM-4	7
6. Tabla 6: Sondeo Sm-6	7
7. Tabla 7: Muestras (I)	8
8. Tabla 8: Muestras (II)	9
9. Tabla 9: Ensayos de resistencia y deformación	9
10. Tabla 10: Ensayo agresividad de suelos	10
11. Tabla 11: Ensayos de identificación y estado (I)	10
12. Tabla 12: Ensayos de identificación y estado (II)	11
13. Tabla 13: Posición de nivel freático en los puntos estudiados	19
14. Tabla 14: Características de las arenas orgánicas	20
15. Tabla 15: Características de las gravas de cantos polimicticos y bolos redondeados	20

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este anejo busca conocer y saber con detalle cuáles son las características geológicas y geotécnicas del terreno a construir en la zona del puerto de Las Casas de Alcanar.

Al tener ciertas limitaciones en el Trabajo de Final de Grado, no se dispone de los medios suficientes como para llevar a cabo un estudio real con sondeos en el terreno del puerto de Las Casas de Alcanar.

De esta manera, buscando información y documentación que pueda ser de utilidad para elaborar este anejo, se ha encontrado un estudio geológico y geotécnico en un proyecto de características similares al del puerto de Las Casas de Alcanar, del cual se ha sacado información para poder completar el presente anejo.

El estudio de dicho proyecto provenía de un estudio de la *Conselleria d'infraestructures i transport de Valencia*, el cual consistía en un estudio relativamente actual para unas obras en el puerto de Vinaroz. Dicho estudio posee unas características geológicas y geotécnicas similares al de Las Casas de Alcanar ya que ambos puertos distan entre si menos de 8 km y tienen unas obras de abrigo similares.

En este proyecto se van a utilizar estos resultados para todos los cálculos de obras, pero a la hora de ejecutar el proyecto, sería necesario realizar un estudio geológico y geotécnico en el puerto de Las Casas de Alcanar para verificar que los resultados de los dos puertos corresponden, y así tener un estudio actual y con datos del terreno sobre el que se va a construir.

El presente estudio geológico y geotécnico del puerto de Vinaroz fue realizado por la empresa COMAYPA, S.A.

## 2. TRABAJOS REALIZADOS

### 2.1. TRABAJOS DE CAMPO

Para la realización del presente estudio se ha llevado a cabo la realización de cinco sondeos de reconocimiento, así como la inspección detallada de toda la zona del proyecto. Los sondeos de reconocimiento se han realizado a rotación, con recuperación del testigo de forma continua, mediante la sonda Mobile-Drill B-31.

Los tres sondeos de reconocimiento situados en la zona del dique se han iniciado mediante sondeos a percusión, con el fin de minimizar costes y esfuerzos, ya que era necesario eliminar la escollera del manto del dique actual para proceder a extraer de forma continua las muestras del terreno natural subyacente. Los sondeos se han situado en zonas en las que está prevista la ejecución de las actuaciones más relevantes.

Los sondeos de reconocimiento han alcanzado diferentes profundidades.

Las profundidades alcanzadas aparecen en la tabla siguiente:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)
SM-1	20,0
SM-2	12,5
SM-3	20,0
SM-4	20,0
SM-5	20,0

*Tabla 1: Profundidades alcanzadas en los sondeos*

El estudio ha realizado sondeos en diferentes sitios con características diferentes, como lo que debería de hacerse en el puerto de Las Casas de Alcanar antes de ejecutar el proyecto:

Los dos primeros sondeos se han realizado en la zona de costa sobre el terreno natural mientras que los tres últimos se han realizado sobre el dique de escollera, con el fin de obtener información acerca de los materiales que se localizan mar a dentro. Es importante darse cuenta que para la ejecución de los tres últimos sondeos, ha sido necesario el empleo de una máquina de perforación a percusión.

Durante la ejecución de los sondeos de reconocimiento y como consecuencia de los materiales interceptados, se ha llevado a cabo la realización de ensayos de penetración Standard (S.P.T), según la norma UNE 103-800-92. S.P.T.: ensayo de penetración estática.

Los resultados aparecen resumidos en las tablas de las siguientes páginas: (Se puede ver que se cita el ensayo SPB que se corresponde con el ensayo de penetración estática (SPT)).

Otra cosa que cabe resaltar, es que por la naturaleza de los materiales, no ha sido posible llevar a cabo la toma de muestras inalteradas.

SM-1			
Profundidad (m)	Muestreo	Nº de golpes	N <sub>30</sub>
De 1,80 a 2,40 m	SPB	4-6-6-5	12
De 4,20 a 4,80 m	SPB	3-3-8-5	11
De 7,20 a 7,25 m	SPB	50R/5cm	Rechazo
De 9,00 a 9,06 m	SPB	50R/6cm	Rechazo
De 11,40 a 12,0 m	SPB	1-1-2-2	3
De 15,0 a 15,60 m	SPB	12-15-17-20	32

Tabla 2: Sondeo SM-1

SM-2			
Profundidad (m)	Muestreo	Nº de golpes	N <sub>30</sub>
De 1,80 a 2,20 m	SPB	2-1-50R/10cm	Rechazo
De 6,60 a 6,65 m	SPB	50R/5 cm	Rechazo
De 9,0 a 9,05 m	SPB	50R/5 cm	Rechazo

Tabla 3: Sondeo SM-2

SM-3			
Profundidad (m)	Muestreo	Nº de golpes	N <sub>30</sub>
De 11,00 a 11,60 m	SPB	10-13-18-21	31
De 13,40 a 14,00 m	SPB	17-15-21-30	36
De 18,20 a 18,80 m	SPB	18-21-23-32	44

Tabla 4: Sondeo SM-3

SM-4			
Profundidad (m)	Muestreo	Nº de golpes	N <sub>30</sub>
De 15,20 a 15,80 m	SPB	21-26-30-33	56

Tabla 5: Sondeo SM-4

SM-5			
Profundidad (m)	Muestreo	Nº de golpes	N <sub>30</sub>
De 17,00 a 17,35 m	SPB	15-28-50R/5 cm	Rechazo

Tabla 6: Sondeo SM-5

## 2.2. TRABAJOS DE LABORATORIO

Las muestras extraídas de cada uno de los sondeos de reconocimiento, para su posterior ensayo en el laboratorio, se presentan de forma resumida en el siguiente cuadro.

Con la realización de estos ensayos de laboratorio, se pretende obtener una identificación exhaustiva de los materiales que afectan a la ejecución de la obra en cada una de las diferentes zonas.

SONDEO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Nº de muestra
SM-1	Alterada	4,0	200312740
SM-1	Alterada	8,0	200312742
SM-1	Alterada	13,5	200312765
SM-1	Alterada	14,0	200312743
SM-1	Alterada	19,0	200312744
SM-2	Alterada	7,0	200312746
SM-2	Alterada	12,0	200312747
SM-3	Alterada	4,0	200400945
SM-3	Alterada	6,5	200400946
SM-3	Alterada	9,0	200400947
SM-3	Alterada	12,0	200400948

*Tabla 7: Muestras I*



SONDEO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	Nº de muestra
SM-4	Alterada	9,5	200400975
SM-4	Alterada	12,0	200400977
SM-4	Alterada	13,5	200400978
SM-4	Alterada	14,5	200400979
SM-4	Alterada	16,0	200400980
SM-4	Alterada	17,5	200400981
SM-4	Alterada	19,0	200400982
SM-5	Alterada	10,0	200401068
SM-5	Alterada	14,0	200401069
SM-5	Alterada	16,0	200401071
SM-5	Alterada	19,0	200401073

Tabla 8: Muestras II

A continuación se presentan los ensayos que se han desarrollado sobre cada de las muestras anteriormente mencionadas, agrupadas en tres grupos diferentes:

🚧 Ensayos de resistencia y deformación :

Nº de muestra	COMPRESIÓN SIMPLE DE SUELOS
200312765	X

Tabla 9: Ensayos de resistencia y deformación

Agresividad de los suelos :

Nº DE MUESTRA	% SULFATOS UNE 103.201-96	% MATERIA ORGÁNICA UNE 103.204-93
200312740	X	X

Tabla 10: Ensayo de agresividad de suelos

Ensayos de identificación y estado :

Nº de muestra	GRANULOMETRÍA UNE 103.101-95	LÍMITE LÍQUIDO UNE103.103-94	LÍMITE PLASTICO UNE 103.104-93
200312740	X	X	X
200312742	X	X	X
200312743	X	X	X
200312744	X	X	X
200312746	X	X	X

Tabla 11: Ensayos de identificación y estado I

Nº de muestra	GRANULOMETRÍA UNE 103.101-95	LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103-94	LÍMITE PLASTICO UNE 103.104-93
200312747	X	X	X
200400945	X	X	X
200400946	X	X	X
200400947	X	X	X
200400948	X	X	X
200400975	X	X	X
200400977	X	X	X
200400978	X	X	X
200400979	X	X	X
200400980	X	X	X
200400981	X	X	X
200400982	X	X	X
200401068	X	X	X
200401069	X	X	X
200401071	X	X	X
200401073	X	X	X

Tabla 12: Ensayos de identificación y estado II

### **3. GEOLOGÍA**

#### **3.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

La zona de estudio se localiza dentro de la zona oriental fallada al SE de la zona central subtabular de Ares de Maestre y Albocacer, y se encuentra en su totalidad sobre materiales de edad Cuaternaria, en la zona oriental fallada (cadenas litorales). Durante el periodo Cuaternario en la zona se producen intensos fenómenos erosivos, que originan la colmatación y la formación de la llanura litoral.

Los materiales que afloran en la zona de estudio están formados por, conglomerados, gravas, arenas y arcillas, las cuales se presentan como potentes intercalaciones. Dentro de estos materiales se ha detectado la existencia de paleocauces de dirección mal definida.

Por su situación geográfica, muy cercana a este estudio, podemos considerar que el puerto de Las Casas de Alcanar tiene unas características muy similares o las mismas.

#### **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES**








Los materiales se describen de menor a mayor profundidad con respecto a la cota de inicio de cada uno de los ensayos.

Vamos a ver los resultados de los cinco sondeos en las siguientes páginas:

##### **3.2.1. Sondeo 1**

Este sondeo se ha realizado en la zona de playa.

El análisis se divide en diferentes tramos:

-  Tramo 0: Desde 0.00m a -0.50m: 50cm de relleno formado por cantos y restos de actividad antrópica.
-  Tramo 1: Desde -0.5m a -1.0m: 50cm de solera de hormigón.
-  Tramo 2: Desde -1.0m a -3.0m: 200cm de relleno antrópico formado por cantos, guijarros subredondeados y restos de ladrillos.
-  Tramo 3: Desde -3.0m a -5.7m: 270cm de arenas limosas de carácter orgánico, de grano medio.
-  Tramo 4: Desde -5.7m a -10.8m: 510cm de gravas.
-  Tramo 5: Desde -10.8m a -18.0m: 720cm de arcillas de coloración parda.
-  Tramo 6: Desde -18.0m a -20.0m: 200cm de gravas

En este sondeo 1 el nivel freático se ha localizado en este sondeo a -2.60 metros, tomando como referencia la boca del sondeo.



Imagen 1: Ubicación del sondeo y columna litológica registrada en el sondeo 1 hasta los 20 metros de

### 3.2.2. Sondeo 2

Este sondeo de reconocimiento se ha realizado en las proximidades del anterior, en la misma zona de la actual playa.

Este sondeo se ha realizado en la zona de playa.

El análisis se divide en diferentes tramos:

- Tramo 0: Desde 0.00m a -3.60m: 360cm de relleno de carácter antrópico formado por cantos.
- Tramo 1: Desde -3.6m a -6.4 m: 280cm de arenas limosas de carácter orgánico.

- Tramo 2: Desde -6.4m a -8.4m: 200cm de gravas de cantos polimícticos.
- Tramo 3: Desde -8.4m a -9.0m: 60cm de arcillas pardo anaranjadas.
- Tramo 4: Desde -9.0m a -10.0m: 100cm de gravas formadas por cantos polimícticos.
- Tramo 5: Desde -10.0m a -11.0m: 100cm de costra carbonatada de color anaranjado.
- Tramo 6: Desde -11.0m a -11.3m: 30cm de gravas de cantos polimícticos
- Tramo 7: Desde -11.3m a -12.5m: 120cm de arenas limo-arcillosas.



*Imagen 2: Columna litológica registrada en el sondeo 2 hasta 12,50 metros de*

En este sondeo, el nivel freático se ha localizado a -1.80 metros, tomando como referencia la boca del sondeo.

### 3.2.3. Sondeo 3

Este sondeo de reconocimiento se ha realizado dentro del actual dique de escollera, que existe en el puerto, para el cual ha sido necesaria la perforación de dicha escollera, mediante una sonda de percusión.



*Imagen 3: Detalle de la escollera perforada y de la maquinaria empleada en la perforación*

El análisis se divide en diferentes tramos:

- ✚ Tramo 0: Desde 0.00m a -8.45m: 845cm de escolleras.
- ✚ Tramo 1: Desde -8.45m a -12.0 m: 355cm de suelos de gravas.
- ✚ Tramo 2: Desde -12.0m a -12.8m: 80cm de arenas arcillosas de coloración parda.
- ✚ Tramo 3: Desde -12.8m a -13.6m: 80cm de costra carbonatada incipiente.
- ✚ Tramo 4: Desde -13.6m a -19.5m: 590cm de gravas formadas por cantos polimícticos.





Imagen 4: Columna litológica registrada en el sondeo 3 hasta 19,50 metros de profundidad

En este sondeo el nivel freático se ha localizado a -2.40 metros, tomando como referencia la rasante del vial del dique.

#### 3.2.4. Sondeo 4

Este sondeo de reconocimiento se ha realizado dentro del actual dique de escollera, que existe en el puerto, y al igual que en el sondeo anterior ha sido necesaria la perforación de dicha escollera, mediante un sonda a percusión.

- ✚ Tramo 0: Desde 0.00m a -8.70m: 870cm de escollera.
- ✚ Tramo 1: Desde -8.7 m a -10.4 m: 170cm de limos de coloración negra.
- ✚ Tramo 2: Desde -10.4m a -13.4m: 300cm de gravas formadas de cantos polimicticos.
- ✚ Tramo 3: Desde -13.4m a -14.0m: 70cm de arenas y limos de coloración amarillenta.
- ✚ Tramo 4: Desde -14.0m a -14.2m: 20cm de costra carbonatada.
- ✚ Tramo 5: Desde -14.2m a -15.0m: 80cm de gravas de canto polimicticos.
- ✚ Tramo 6: Desde -15.0m a -15.5m: 50cm de arcillas parcialmente arenosas.
- ✚ Tramo 7: Desde -15.5m a -17.2m: 170cm de gravas de cantos polimicticos.
- ✚ Tramo 8: Desde -17.2m a -17.9m: 70cm de limos y arenas arcillosas.
- ✚ Tramo 9: Desde - 17.9m a -20.0m: 210cm de gravas u arenas formadas por cantos polimicticos.





Imagen 5: Columna litológica registrada en el sondeo 4 desde 8,00 metros hasta 20, 00 metros de profundidad siendo los 8 primeros de escollera

En este sondeo el nivel freático se ha localizado a -2.50 metros, tomando como referencia la rasante del vial del dique.

### 3.2.5. Sondeo 5

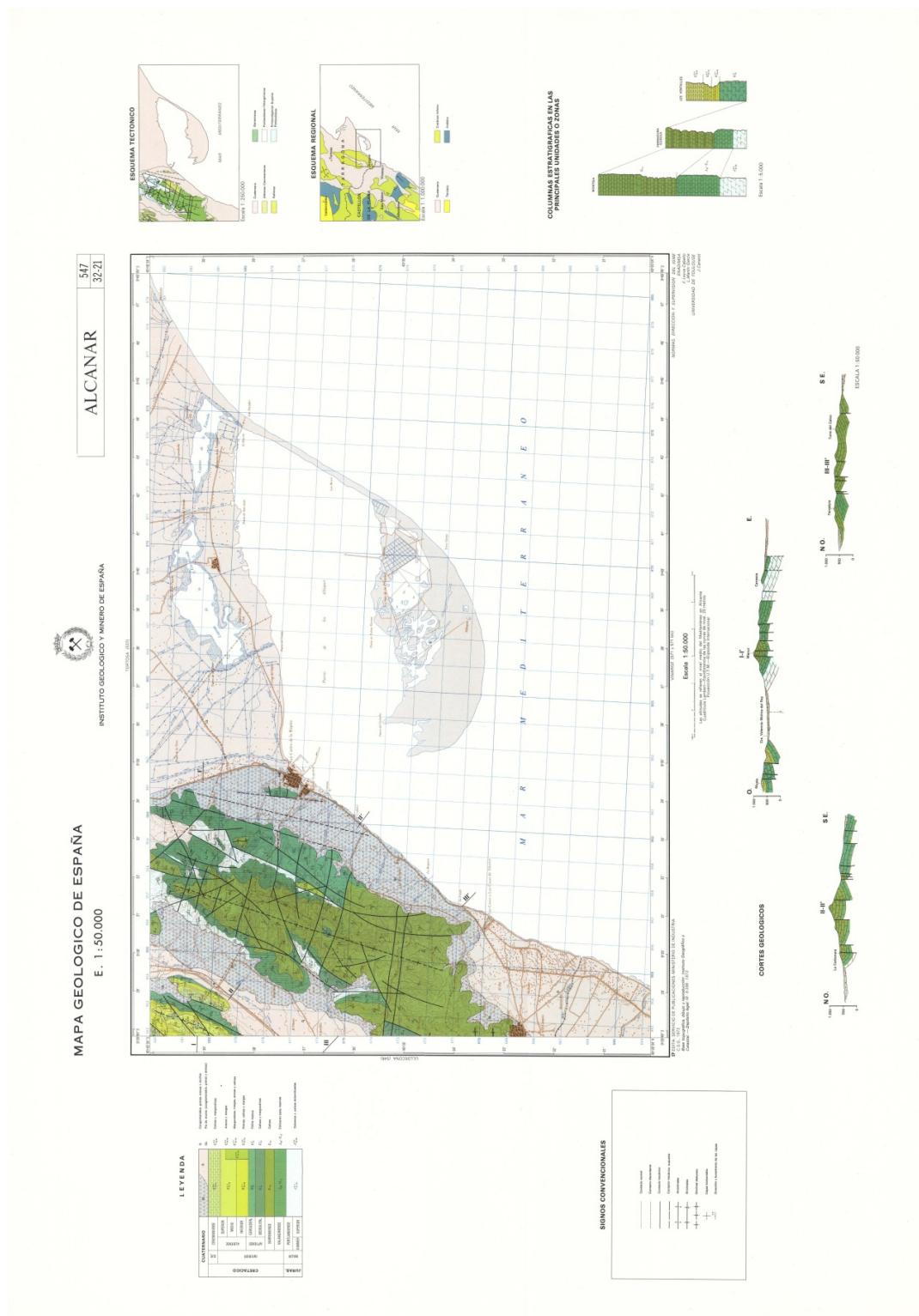
Este sondeo de reconocimiento se ha realizado dentro del actual dique de escollera, que existe en el puerto, localizado mar adentro, al igual que en el sondeo anterior ha sido necesaria la perforación de dicha escollera, mediante un sonda a percusión.

- ✚ Tramo 0: Desde 0.00m a -9.0m: 900cm de escollera.
- ✚ Tramo 1: Desde -9.0 m a -12.1 m: 310cm de arenas limosas de coloración negra.
- ✚ Tramo 2: Desde -12.1m a -15.15m: 305cm de gravas formadas de cantos polimicticos.
- ✚ Tramo 3: Desde -15.15m a -15.45m: 30cm de arenas parcialmente arcillosas, las cuales presentan una coloración ocre amarillenta.
- ✚ Tramo 4: Desde -15.45m a -20.0m: 45.5cm de gravas de cantos polimictricos.

En este sondeo el nivel freático se ha localizado a -2.20 metros, tomando como referencia la rasante del vial del dique.

### 3.3. MAPA GEOLÓGICO

A continuación se adjunta un mapa geológico de la zona obtenido del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), exactamente es la hoja 547 a escala 1:50000.



*Imagen 6: Mapa geológico de la zona*

## 4. HIDROGEOLOGÍA

Cabe destacar que dada la proximidad al mar de todos los trabajos de campo realizados, en todos los sondeos se ha detectado la presencia del nivel freático, aunque tan sólo en los dos primeros ha podido ser medida la cota a la que ha aparecido, ya que en los sondeos perforados a percusión, como se realiza una entubación para garantizar la estabilidad de la perforación, no se tiene una medida exacta de la posición de dicho nivel.

De todas formas, de forma resumida, exponemos las posiciones del nivel freático correspondiente a cada uno de los puntos investigados.

SONDEO	PROFUNDIDAD N.F (m)
SM-1	2,60
SM-2	1,80
SM-3	2,40 <sup>(*)</sup>
SM-4	2,50 <sup>(*)</sup>
SM-5	2,20 <sup>(*)</sup>

<sup>(\*)</sup> Datos estimados por observación.

*Tabla 13: Posición del nivel freático en los puntos estudiados*

Evidentemente, el agua detectada en los puntos investigados es de origen marino.

Por lo tanto, deberán emplearse hormigones con cementos resistentes al agua de mar, en el caso de elementos de hormigón, tomándose las medidas oportunas en cuanto a la durabilidad de las estructuras y los materiales.

## 5. EXCAVABILIDAD

En cuanto a la excavabilidad de los materiales descritos cabe destacar que la mayoría de ellos se consideran excavables mediante dragas de succión, aunque para determinadas facies, como son los conglomerados y las costras zonales, así como algunos niveles de gravas con elevada compacidad puede requerirse el empleo de cortadores de cutter energéticos. Es importante esta cuestión, ya que parte del dragado afecta al paquete de gravas que ocasionalmente pueden estar cementadas.

Atendiendo a los sondeos y ensayos de laboratorio efectuados estimaremos los siguientes parámetros medios:

✚ Arenas Orgánicas : arenas orgánicas de color negro, de grano medio:

$\phi$	30°
$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$	0,00
Densidad aparente( $\text{T/m}^3$ )	1.9

Tabla 14: Características de las arenas orgánicas

✚ Gravas de cantos polimícticos y bolos redondeados :

$\phi$	33°
$C' \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$	0,00
Densidad aparente ( $\text{T/m}^3$ )	2.10

Tabla 15: Características de las gravas de cantos polimícticos y bolos redondeados

## **6. CAPACIDAD PORTANTE Y ASIENTOS**

### **6.1. CONSIDERACIONES PREVIAS**

Dentro del contexto de las actuaciones previstas, además de la definición de la naturaleza de los materiales desde el punto de vista geológico, cabe una necesaria estimación de las propiedades geomecánicas de las facies localizadas.

Este conjunto de hipótesis constituye una base fundamental para afrontar el análisis adecuado de las soluciones que se han adoptado, no sólo en cuanto a la cimentación de las edificaciones o actuaciones previstas, sino también en la propia definición del proyecto en sí.

Los trabajos de campo llevados a cabo han permitido detectar la existencia de un potente nivel de gravas a cotas relativamente próximas a la superficie topográfica. No obstante, como en la mayoría de las obras portuarias, hay que contar con una capa bastante importante de rellenos y arenas orgánicas que, en algún caso alcanza más de seis metros de potencia, sin contar con el calado existente en cada punto.

Todo ello, obliga a considerar alternativas de cimentación que permitan combinar de forma eficiente las necesidades del relleno que habrá que efectuar para crear nuevas superficies sobre el nivel del mar con cimentaciones apropiadas en cada caso.

Básicamente, cabe considerar soluciones que pasan desde una cimentación profunda mediante pilotes, hasta una sustitución de terreno encaminada a mejorar las condiciones que ofrecen para cimentación las arenas y lodos más superficiales.

En todo caso, conviene analizar la competencia de la facies de mejores características geotécnicas. Es decir, se realizará una estimación de la capacidad portante de las gravas de cantos polimícticos con matriz arenosa marrón clara a parda. En este sentido, se tiene que tener en cuenta los condicionantes impuestos por un paquete de arcillas subyacentes que, atendiendo a la investigación efectuada, pueden presentarse constituyendo lentejones muy blandos. Es decir, aunque se parte de la base de la buena compacidad de estas gravas, son las arcillas las que imponen las restricciones, ya que podría producirse la rotura por punzonamiento del estrato superior.

Con esto, una vez estimada la tensión admisible sobre la facies de gravas, se pasará a calcular un valor de carga de trabajo sobre las arcillas considerando los datos más restrictivos que permitan afirmar que se está del lado de la seguridad.





## 6.2. TENSIÓN ADMISIBLE EN LAS GRAVAS

Se van a utilizar parámetros de resistencia o deformabilidad deducidos de medidas in situ realizadas con penetrómetros. Un método muy extendido para relacionar los asientos con los ensayos SPT es el de Terzaghi y Peck, que da las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{N \cdot s}{8} \quad B \leq 1,20 \text{ m} \quad (1)$$

$$Q = \frac{N \cdot s}{12} \cdot \left( \frac{B + 0,3}{B} \right)^2 \quad B > 1,20 \text{ m} \quad (2)$$

Con:

-  S: asiento en pulgadas
-  Q: carga en Kp/cm<sup>2</sup>
-  B: ancho de zapata o cimentación en metros
-  N: n° de golpes SPT

A efectos de la estimación de un valor de tensión admisible supondremos una cimentación semiprofunda por pozos sobre este estrato con unas dimensiones de 3x3 m<sup>2</sup>, imponiendo un asiento de 25 mm, y tomando N<sub>30</sub> = 31; obtenemos:

$$Q_{ADM} = 3,13 \text{ Kg/cm}^2$$

## 6.3. TENSIÓN ADMISIBLE EN LAS ARCILLAS

Siguiendo el mismo razonamiento que en el caso anterior, y tomando como parámetro N<sub>30</sub> = 31, se obtiene:

$$Q_{ADM} = 0,30 \text{ Kg/cm}^2$$

Por otra parte, suponiendo una disipación de tensiones de 35%, se puede observar que, a una profundidad de H m bajo la zapata, la carga se reparte sobre una superficie calculada según la fórmula y los siguientes esquemas:

$$\text{Superficie} = (B + 2 \cdot H \cdot (\tan 35^\circ / \tan 55^\circ)) \cdot 2 \text{ m}^2$$

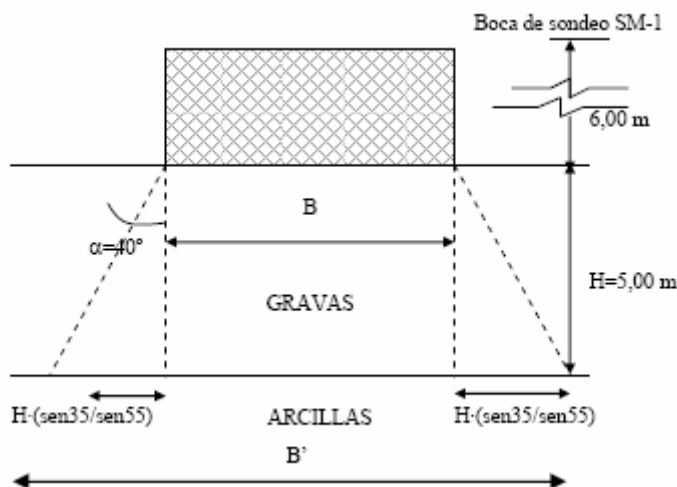


Imagen 8: Detalle tensión admisible de las gravas

Es decir, se está planteando que, a unos 6,00 metros de profundidad, el terreno admite una tensión tal que la disipación de tensiones será suficiente como para que no se produzca la rotura por punzonamiento.

Con estas consideraciones, al estar hablando de pozos de cimentación de 3 metros de ancho, se estima que a la capa de arcillas le puede llegar, como mucho una carga de 0,30 Kg/cm<sup>2</sup>:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma = 0,30 \text{ Kg/cm}^2 \\ B' = 11,39 \text{ m} \end{array} \right\} \rightarrow F = 0,30 \cdot (1139)^2 = 389.196,30 \text{ Kg.}$$

Con lo anteriormente expuesto, a 6,0 metros de profundidad, (respecto a la boca del sondeo SM-1), se puede trabajar con un valor de tensión de:

$$B = 3,00 \text{ m} \rightarrow \sigma = 389.196,30 \text{ Kg} / (300)^2 = 4,32 \text{ Kg/cm}^2$$

También se ve que si trabajamos con un valor de tensión admisible de  $\sigma = 3,00 \text{ Kg/cm}^2$ , se estima que el bulbo de presiones apenas afectará a la facies de arcillas blandas.

Por lo tanto para los cálculos de este proyecto vamos a considerar una tensión admisible de 3,0 Kg/cm<sup>2</sup> que son 30 t/m<sup>2</sup>



## **7. PROBLEMAS ESPECIALES: LICUEFACCIÓN DE SUELOS**

El procedimiento de relleno para la creación de las nuevas superficies va a proporcionar grandes masas de suelo granulado, con una estructura muy abierta y saturada y, relativamente, con permeabilidad baja. Es decir, estamos ante un suelo susceptible a la licuefacción.

La licuefacción se produce en terrenos con un contenido predominantemente areno-limoso, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos que llegan a provocar la anulación de la presión efectiva, con lo que la resistencia al corte desaparece y el material se comporta como un líquido.

Por tanto, se trata de un fenómeno especialmente ligado a terremotos, aunque debe ser considerado a pesar de que la localidad de Vinaroz se encuentra en zona de bajo riesgo sísmico porque se ha comprobado que el efecto de las vibraciones de maquinaria industrial, como compresores o turbinas puede llegar a provocar efectos muy graves cuando la frecuencia de la vibración coincide con la frecuencia natural del terreno. Incluso, el simple paso de camiones sobre este tipo de rellenos puede provocar una licuefacción de estos. El puerto de las Casas de Alcanar está en la misma configuración y por lo tanto está sometido a los mismos problemas y a las mismas recomendaciones.

La solución a este problema consiste en “licuefactar” el suelo antes de llevar a cabo las edificaciones a construir. Es decir, se recomienda compactar o vibrar el suelo previamente para densificar el terreno en la medida de lo posible.

Si a pesar de haberse compactado la zona en cuestión, se observa que las vibraciones causan asentamientos perjudiciales en una estructura particular se puede proceder a inyectar el suelo o a introducir partículas más gruesas con técnicas como la vibrosustitución, por ejemplo, que consiste en la ejecución de “pilotes de grava”.



## 8. INTERPRETACIONES Y RECOMENDACIONES

Los trabajos de campo llevados a cabo han permitido detectar la existencia de un potente nivel de gravas a cotas relativamente próximas a la superficie topográfica. No obstante, como en la mayoría de las obras portuarias, hay que contar con una capa bastante importante de rellenos y arenas orgánicas que, en algún caso alcanza más de seis metros de potencia, sin contar con el calado existente en cada punto.

En vista de las características de las obras previstas, (diques, edificaciones (en su caso) y vertido de rellenos para creación de nuevas superficies), cabe considerar distintas alternativas de cimentación, dependiendo de la obra que se trate. Se recomienda ver cada caso en particular ya tratado en el capítulo correspondiente.

Atendiendo a los ensayos realizados podemos afirmar que el suelo NO ES AGRESIVO frente al hormigón según norma EHE, aunque la influencia del agua de mar obligará al empleo de cementos resistentes al ambiente marino, debiéndose tomar las medidas oportunas respecto a la durabilidad de las estructuras y actuaciones previstas.

Por otra parte, la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02), no es de obligado cumplimiento pero se recomienda la aplicación de las reglas de diseño indicadas.

En el caso de que pretenda llevarse a cabo la ejecución de cualquier tipo de cimentación, se recomienda prestar atención a la consolidación de los rellenos vertidos para la creación de nuevas superficies y, en la medida de lo posible, controlar su compacidad para tener una referencia de resistencia. Para ello, se recomienda la ejecución de ensayos de penetración dinámica superpesada, por ejemplo, de la forma descrita en el capítulo correspondiente.

En el caso de que durante la excavación se observaran variaciones en la litología, el diseño y cálculo de la cimentación, así como la definición de las características estructurales definitivas, deberán adaptarse a las nuevas condiciones.

## 9. MAPA DE LOS SONDEOS EN EL PUERTO DE VINARÓZ

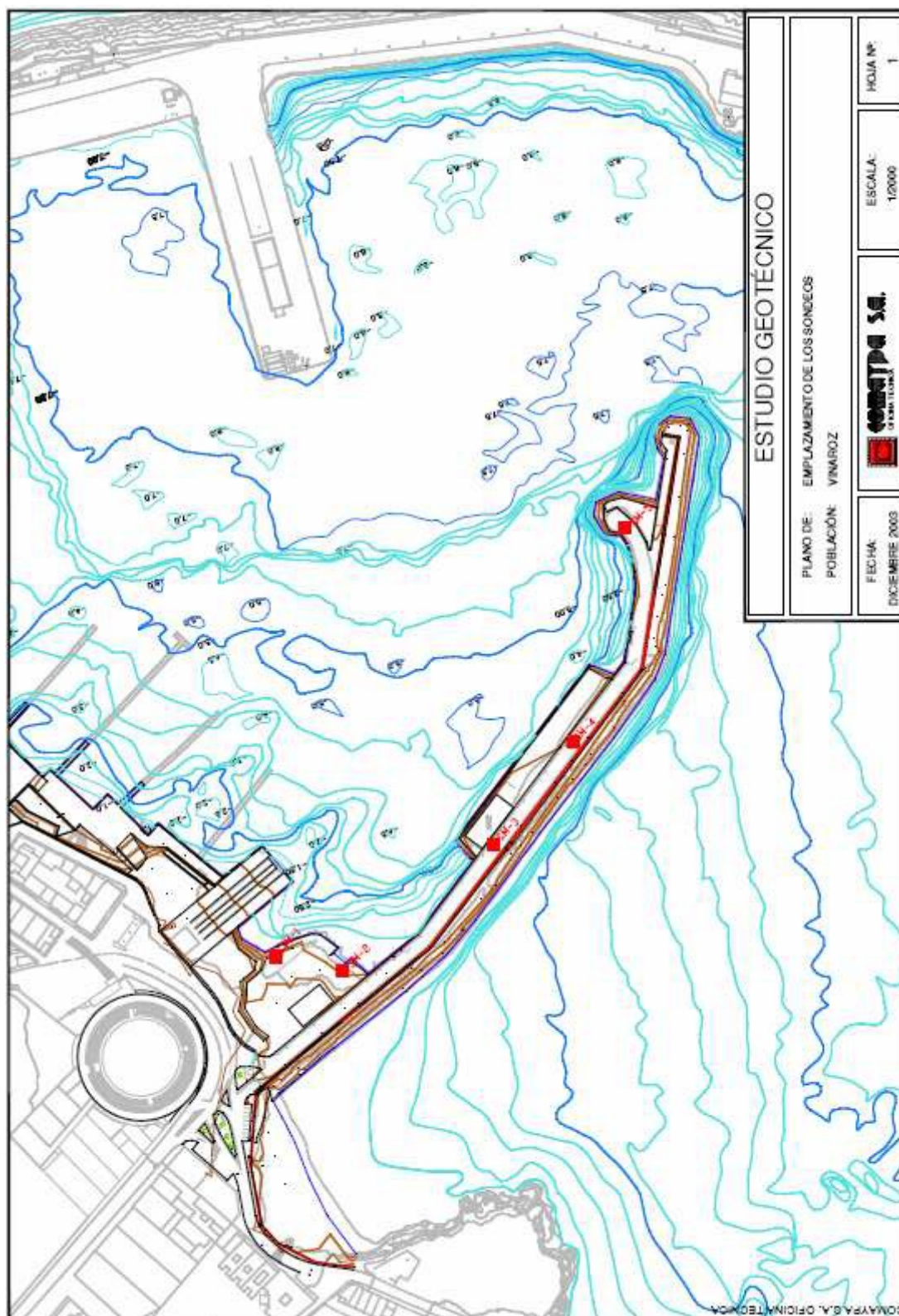


Imagen 8: Mapa de sondeos en el puerto de Vinaroz